ประสิทธิภาพของราปฏิปักษ์รูปการค้าต่อการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood ของมันสำปะหลัง

Efficiency of commercial products of antagonistic fungi for controlling root–knot nematode, *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood of cassava

ภูมิ ต๊ะอุ่น[1,2], วีระศักดิ์ ศักดิ์ศิริรัตน์[2,3*], ศิวิลัย สิริมังคารัตน์[3,2] และ ดวงรัตน์ ธงภักดี[1]

Pum Ta-oun[1,2], Weerasak Saksirirat[2,3*], Sivilai Sirimungkararat[3,2] and Duangrat Thongpak[1]

บทคัดย่อ: การทดสอบประสิทธิภาพของราปฏิปักษ์รูปการค้า 4 ชนิด ได้แก่ Product 1 (Beauveria bassiana), Product 2 *(Paecilomyces lilacinus*), Product 3 (*Metarhizium anisopliae*) และ Product 4 (*Trichoderma harzianum*) เพื่อควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม (RKN, *Meloidogyne incognita*) ของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ในสภาพเรือนทดลอง โดยเปรียบเทียบกับการใช้สารเคมีกำจัดไส้เดือนฝอย carbosulfan, กรรมวิธีควบคุม 1 (control 1, ต้นมันสำปะหลังที่มีการราดไข่ไส้เดือนฝอยรากปมอย่างเดียว) และกรรมวิธีควบคุม 2 (control 2, ต้นมันสำปะหลังที่ไม่มีการใช้ทั้งเชื้อราปฏิปักษ์และสารเคมีกำจัดไส้เดือนฝอย รวมทั้งไม่มีการราดไข่) โดยใช้ราปฏิปักษ์รูปการค้าทั้ง 4 ชนิด ตามอัตราแนะนำในฉลากให้กับต้นมันสำปะหลังที่ปลูกในกระถาง ต้นละ 1 กระถางที่ 7, 5, 3 และ 0 วันก่อนมีการราดไข่ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) มี 19 กรรมวิธี 4 ซ้ำ (กระถาง) แต่ละกระถางมีมันสำปะหลัง 1 ต้น หลังจากราดไข่ 45 วัน จึงประเมินค่าตัวชี้วัดปริมาณไส้เดือนฝอย ได้แก่ จำนวนกลุ่มไข่ต่อระบบราก (เกณฑ์หลักในการประเมินความรุนแรง) จำนวนไข่ต่อราก 1 กรัม และจำนวนตัวเต็มวัยเพศเมียต่อราก 1 กรัม รวมทั้งประเมินตัวชี้วัดการเจริญเติบโต (ความสูงของต้น น้ำหนักต้นและรากสด และน้ำหนักรากสด) ซึ่งจากการทดลองทั้ง 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ฤดูฝน 27 มิถุนายน – 12 สิงหาคม 2561 (21–35.5 °ซ, 88–96% R.H.) และ ฤดูหนาว 23 พฤศจิกายน 2561

Received December 12, 2018

Accepted June 12, 2019

[1] สาขากีฏวิทยาและโรคพืชวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Department of Entomology and Plant Pathology, Fac. of Agriculture, Khon Kaen University

[2] ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีชีวภาพการเกษตรเพื่อเศรษฐกิจที่ยั่งยืน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Agricultural Biotechnology Research Center for Sustainable Economy, Fac. of Agriculture, Khon Kaen University

[3] กลุ่มวิจัยการเพาะเลี้ยงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไหมป่าและแมลงสำคัญทางเศรษฐกิจเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Cultivation and Product Development Research Group of Wild Silkmoths and Economic Insects for Value Added Creation, Khon Kaen University

* Coresponding author Email: weerasak@kku.ac.th

– 7 มกราคม 2562 (17–35.7 °ซ, 80–96% R.H.) พบว่าทั้งฤดูฝนและฤดูหนาวนั้น การใช้ *T. harzianum* 7 วันก่อนการราดไข่นั้น ให้ผลดีที่สุดเมื่อเปรียบกับการใช้ราปฏิปักษ์อื่นๆต่อการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม โดยทำให้จำนวนกลุ่มไข่ต่อระบบรากเท่ากับ 21.05 และ 116.64 กลุ่มไข่ ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้สารเคมี carbosulfan ที่มีค่าน้อยที่สุด (20.87 และ 97.14 กลุ่มไข่ ตามลำดับ) ทั้งนี้สามารถลดจำนวนกลุ่มไข่ต่อระบบรากลงได้ 89.67 และ 93.92 %ตามลำดับ ส่วนตัวชี้วัดการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังเมื่อประเมินจากความสูงของต้น น้ำหนักต้นและรากสด และน้ำหนักรากสดใน 2 ฤดูที่ทดสอบนั้น พบว่าความสูงของต้นจากกรรมวิธีควบคุม 1 มีความสูงของต้นน้อยที่สุด ในขณะที่การใช้รา *M. anisopliae* ต่างกรรมวิธีทำให้ต้นมันสำปะหลังมีความสูง และน้ำหนักต้นและรากสด มีค่าอยู่ในระดับมาก – มากที่สุด ขณะที่กรรมวิธีควบคุม1 นั้นมีน้ำหนักต้นและรากสดอยู่ในระดับต่ำ – ต่ำที่สุด ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าราปฏิปักษ์รูปการค้า *T. harzianum* มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับสารเคมี carbosulfan ต่อการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมของมันสำปะหลังในสภาพเรือนทดลองดังกล่าว

คำสำคัญ: ราปฏิปักษ์, รูปการค้า, การควบคุม, ไส้เดือนฝอยรากปม, มันสำปะหลัง

ABSTRACT: The efficiency 4 commercial products of antagonistic fungi, Product 1 (*Beauveria bassiana*), Product 2 (*Paecilomyces lilacinus*), Product 3 (*Metarhizium anisopliae*) and Product 4 (*Trichoderma harzianum*) on control root–knot nematode (RKN, *Meloidogyne incognita*) of cassava variety Rayong 9 was investigated under greenhouse condition in comparison to using nematicide (carbosulfan) and no use of the products or nematicide but inoculation with RKN egg suspension (control 1) and untreated cassava (control 2). Two experiments were conducted in the rainy season (June 27th – August 12th 2018, 21–35.5 ˚C, 88–96 % R.H.) and cool season (November 23rd 2018 – January 7th 2019, 17–35.7 ˚C, 80–96 % R.H.). The commercial products of antagonistic fungi were applied using recommendation rates to the cassava plants in pots, 1 plant/pot. After 7, 5, 3 and 0 days of fungal application, the RKN egg suspension was infested in the potting soil. The experiments were carried out in a greenhouse for 2 seasons, each experiment comprised 19 treatments, 4 replications (pots). After 45 days of RKN inoculation, cassava plants were determined and evaluated on nematode parameter, the number of eggs per root system (main criteria for assessing severity) number of eggs per gram root and number of female adults per gram root, including growth parameter, (plant height, shoot and root fresh weight and root fresh weight). The result from 2 seasons, rainy season (June 27th – August12th 2018, 21–35.5 ˚C, 88–96% R.H.) and cool season (November 23rd 2018-January7th 2019,17–35.7 ˚C, 80–96% R.H.) showed that the use of *T. harzianum* 7 days before inoculation, gave the best result, compared to other antagonistic fungi used for control root-knot nematodes with the number of egg masses per root system of 21.05 and 116.64 egg masses, respectively, which were not significantly different to the use of carbosulfan with the lowest value (20.87 and 97.14 egg masses, respectively). It also reduced number of eggs per root system 89.67 and 93.92, respectively. The results on growth evaluation of cassava plants, shoot height, shoot and root fresh weight, and root fresh weight obtained from 2 seasons showed that shoot height of control 1 was the minimum height, while more – the most of shoot height, and shoot and root fresh weight were obtained from the application of *M. anisopliae* in different treatments, whereas the control 1 was in the group of low – the lowest values of shoot and root fresh weight. The result of this study indicated that the antagonistic fungus of commercial product *T. harzianum* can be applied efficiently comparable with carbosulfan to control RKN in cassava under this greenhouse condition.

Keywords: Antagonistic fungi, commercial products, control, root–knot nematode, cassava

บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (4,807,207ไร่) โดยปี 2560 มีผลผลิต 16,835,078 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ในปัจจุบันการปลูกมันสำปะหลังมีการให้น้ำแบบระบบน้ำหยดเพื่อเพิ่มผลผลิต ซึ่งไส้เดือนฝอยสามารถแพร่ระบาดในสภาพดินปลูกที่มีความชื้น เช่นจากวิธีการให้น้ำดังกล่าว (สำนักผู้เชี่ยวชาญ กรมวิชาการเกษตร, ม.ป.ป.)

สำหรับโรครากปมนี้มีสาเหตุมาจากไส้เดือนฝอยรากปม (root–knot nematode, Meloidogyne spp.) ซึ่งเป็นไส้เดือนฝอยศัตรูพืชที่สำคัญที่สามารถเข้าทำลายพืชได้หลายชนิด เช่น ธัญพืช พืชตระกูลถั่ว พืชเส้นใย ไม้ดอกไม้ประดับ ไม้ผล พืชหัว และพืชผัก ทั้งนี้ไส้เดือนฝอยรากปมมีหลายชนิด (species) มีการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (parthenogenesis) สามารถออกไข่ที่สมบูรณ์ได้โดยไม่ต้องผสมกับเชื้อตัวผู้ ทำให้สามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว การดำรงชีวิตของไส้เดือนฝอยรากปมต้องอาศัยในที่ที่มีน้ำหรือมีความชื้น ตัวอ่อนมีการฟักตัวอย่างรวดเร็ว และมีการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระตามช่องว่างของอนุภาคดิน เมื่อมีความชื้นเพียงพอหรือมีน้ำเป็นฟิล์มบางๆตามอนุภาคดิน ถ้าความชื้นในดินสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝน ปริมาณไส้เดือนฝอยรากปมจะมีการเพิ่มจำนวนสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าในดินมีความชื้นมากเกินไปจะทำให้การฟักไข่และการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนถูกยับยั้งได้เช่นกัน อาจเนื่องจากขาดการระบายอากาศ (Wallace, 1968) ในประเทศไทยมีรายงานโรครากปมในมันสำปะหลังที่เกิดจากไส้เดือนฝอย *M. incognita* เป็นครั้งแรกในแปลงปลูกของเกษตรกรบริเวณปากทางเข้าอุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย (สืบศักดิ์และคณะ, 2521) ต่อมา จรรยาและคณะ (2559) รายงานว่าโรครากปมของมันสำปะหลังมีการระบาดรุนแรงในปี 2544 ที่จังหวัดชัยภูมิ ทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 เสียหายถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาในปี 2557 พบการระบาดในแปลงมันสำปะหลังจังหวัดกาญจนบุรี กาฬสินธุ์ กำแพงเพชร นครสวรรค์ นครราชสีมา และระยอง ทำให้ผลผลิตเสียหายได้ตั้งแต่ 20 – 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในต่างประเทศนั้น จากการสำรวจในประเทศอูกันดาพบว่า มีไส้เดือนฝอยหลายชนิดที่มีความสัมพันธ์กับมันสำปะหลัง แต่มีไม่กี่ชนิดที่ทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ ทั้งนี้ชนิดที่ทำให้เกิดความเสียหายมากที่สุด คือ *Meloidogyne incognita, M. javanica* และ *Pratylenchus brachyurus* ซึ่งการสูญเสียผลผลิตหัวมันสำปะหลังนั้นมีสูงถึง 98 เปอร์เซ็นต์อันเนื่องมาจากไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne* spp. (Coyne, 1994)

สำหรับการป้องกันกำจัดไส้เดือนฝอยศัตรูพืชมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การใช้สารเคมี การใช้สารอินทรีย์ การควบคุมทางชีววิธี การใช้พันธุ์ต้านทาน และวิธีทางเขตกรรม (สมควร, 2539) ซึ่งการป้องกันกำจัดไส้เดือนฝอยรากปมแต่ละวิธีนั้นต่างมีข้อจำกัด เช่น การใช้สารเคมีเป็นวิธีที่ลงทุนสูง เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และตกค้างในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการนำวิธีการอื่นที่ปลอดภัย อาทิ ชีววิธีมาใช้ร่วมด้วยในการควบคุม จึงเป็นแนวทางที่ควรให้ความสำคัญ (Jatala, 1986) สำหรับเชื้อจุลินทรีย์ควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมนั้น มีการใช้ราปฏิปักษ์ เช่น *Paecilomyces lilacinus, Pochonia chlamydosporia, Metarhizium anisopliae, Beauveria bassiana* และ *Trichoderma* spp. เป็นต้น (วีระศักดิ์, 2560) ทั้งนี้พบว่าในต่างประเทศมีการใช้ทั้งเชื้อรา *P. lilacinus* และราขาว *B. bassiana* ซึ่งให้ผลดีใกล้เคียงกัน โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Ekanayake and Jayasundara, 1994) ส่วนในประเทศไทยมีการนำเชื้อรา *P. lilacinus* บางรูปการค้ามาใช้ และมีจุดเน้นเพื่อควบคุมโรครากปมของมันสำปะหลัง โดยทดสอบในระดับแปลงปลูกที่มีการระบาดของไส้เดือนฝอยรากปม ซึ่งพบว่าการใช้ *oxamyl, carbofuran* และ *P. lilacinus* มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรครากปมของมันสำปะหลังดีกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (อุดมศักดิ์, 2558) ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของราปฏิปักษ์รูปการค้าในการควบคุมโรครากปมของมันสำปะหลังในสภาพเรือนทดลอง สำหรับนำไปใช้โดยตรงหรือประยุกต์ใช้ด้วยวิธีการผสมผสานต่อไป

วิธีการศึกษา

1. ราปฏิปักษ์รูปการค้า

รวบรวมราปฏิปักษ์รูปการค้าที่สำคัญเพื่อทดสอบการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita* ได้แก่ Product 1 (รา *Beauveria bassiana*) อัตราแนะนำในการใช้ 100 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร, Product 2 (รา *Paecilomyces lilacinus)* และ Product 3 (รา *Metarhizium anisopliae*) อัตราแนะนำในการใช้ 200 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร และ Product 4 (รา *Trichoderma harzianum*) อัตราแนะนำในการใช้ 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร เมื่อมีการใช้จึงนำราปฏิปักษ์รูปการค้าใส่ลงในน้ำในอัตราแนะนำแล้วราดลงที่โคนต้นมันสำปะหลัง 250 มิลลิลิตรต่อต้น

2. การแยกและเพิ่มปริมาณไส้เดือนฝอยรากปม

เก็บตัวอย่างโรครากปมของมันสำปะหลังจากแปลงของเกษตรกร ในพื้นที่อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ นำตัวอย่างโรครากปมมาแยกกลุ่มไข่เดี่ยวๆ และเพิ่มปริมาณไส้เดือนฝอยรากปมโดยใช้มะเขือเทศพันธุ์สีดา (ประยุกต์ตามวิธีการของยุวดี, 2550) เพื่อใช้เตรียมไข่ไส้เดือนฝอยตลอดการทดลอง

3. การเตรียมสารแขวนลอยไข่ไส้เดือนฝอยรากปม

นำรากมะเขือเทศที่มีกลุ่มไข่ไส้เดือนฝอยมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร แช่ลงในสารละลาย sodium hypochlorite (NaOCl) เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ นาน 3 นาที พร้อมกับใช้แท่งแก้วกวนเบาๆ เพื่อช่วยละลายสารเหนียวและให้ไข่แยกกระจายออกจากกลุ่มไข่ หลังจากนั้นเทสารแขวนลอยไข่ไส้เดือนฝอยผ่านตะแกรงหยาบขนาด 32 mesh (เมช) (ขนาดช่อง 500 ไมครอน, µm) รองรับสารแขวนลอยไข่ไส้เดือนฝอยที่ผ่านตะแกรงและทิ้งสิ่งที่ค้างบนตะแกรง จากนั้นนำสารแขวนลอยไข่ที่ได้มาเทผ่านตะแกรงขนาด 500 mesh (ขนาด 25 µm) แล้วรีบล้างไข่ที่ติดค้างบนตะแกรง 4 ครั้ง จึงนำมาทำเป็นสารแขวนลอยไข่เก็บไว้ในบิกเกอร์ นำไปนับภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ เพื่อใช้สำหรับการทดสอบต่อไป

4. การทดสอบประสิทธิภาพของราปฏิปักษ์รูปการค้าต่อโรครากปมของมันสำปะหลัง

ทดสอบราปฏิปักษ์รูปการค้า 4 ชนิด ได้แก่ Product 1 (*B. bassiana)*, Product 2 (*P. lilacinus*), Product 3 (*M. anisopliae*), Product 4 (*T. harzianum)* และสารเคมีกำจัดไส้เดือนฝอย carbosulfan โดยใช้ตามอัตราที่ปรากฏในฉลาก โดยทดลองที่เรือนทดลองกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) มี 19 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ (กระถาง) แต่ละกระถางมีมันสำปะหลัง 1 ต้น โดยมีรายละเอียดของกรรมวิธีดังนี้

กรรมวิธีที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ มันสำปะหลัง + Product 1(*B. bassiana)*, Product 2 (*P. lilacinus*), Product 3 (*M. anisopliae)* และ Product 4 (*T. harzianum)* ก่อนราดไข่ไส้เดือนฝอย 7 วัน ตามลำดับ

กรรมวิธีที่ 5, 6, 7 และ 8 คือ มันสำปะหลัง + Product 1(*B. bassiana*), Product 2 (*P. lilacinus*), Product 3 (*M. anisopliae*) และ Product 4 (*T. harzianum*) ก่อนราดไข่ไส้เดือนฝอย 5 วัน ตามลำดับ

กรรมวิธีที่ 9, 10, 11 และ 12 คือ มันสำปะหลัง + Product 1(*B. bassiana*), Product 2 (*P. lilacinus*), Product 3 (*M. anisopliae*) และ Product 4 (*T. harzianum*) ก่อนราดไข่ไส้เดือนฝอย 3 วัน ตามลำดับ

กรรมวิธีที่ 13, 14, 15 และ 16 คือ มันสำปะหลัง + Product 1(*B. bassiana*), Product 2 (*P. lilacinus*), Product 3 (*M. anisopliae*) และ Product 4 (*T. harzianum*) ก่อนราดไข่ไส้เดือนฝอย 0 วัน ตามลำดับ

กรรมวิธีที่ 17 มันสำปะหลัง + ราดไข่ไส้เดือนฝอย + สารเคมี carbosulfan

กรรมวิธีที่ 18 มันสำปะหลัง + ราดไข่ไส้เดือนฝอย (กรรมวิธีควบคุม 1, control 1)

กรรมวิธีที่ 19 มันสำปะหลังอย่างเดียว (กรรมวิธีควบคุม 2, control 2)

นำท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ที่มีอายุประมาณ 10 – 12 เดือน มาตัดเป็นท่อน ยาวท่อนละ 20 เซนติเมตร แล้วนำไปปลูกในกระถาง (Ø

15 ซม.) ซึ่งบรรจุดินที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว โดยใช้ดินที่มีส่วนผสมของดินร่วน : ดินทราย : พีทมอส (อัตราส่วน 1 : 1 : 1) ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันดี นำส่วนผสมของดินปริมาณ 1 กิโลกรัมบรรจุลงในถุงพลาสติกทนร้อน แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น จึงใช้ปลูกมันสำปะหลังจำนวน 1 ท่อน(ต้น)ต่อกระถาง เมื่อมันสำปะหลังมีอายุครบ 14 วัน เริ่มปลูกเชื้อราปฏิปักษ์ในกรรมวิธีที่ 1 – 4 โดยชั่งราปฏิปักษ์รูปการค้าทั้ง 4 ชนิด ตามอัตราที่ใช้ซึ่งระบุไว้ในฉลากผลิตภัณฑ์ แล้วราดที่โคนต้นมันสำปะหลัง 250 มิลลิลิตรต่อต้น หลังจากนั้น 2 วัน ปฏิบัติเช่นเดียวกันสำหรับกรรมวิธีที่ 5–8 อีก 2 วันปฏิบัติเช่นเดียวกันสำหรับกรรมวิธีที่ 9–12 และต่อมาอีก 3 วันปฏิบัติเช่นเดียวกันสำหรับกรรมวิธีที่ 13–16 และในกรรมวิธีที่ 17 ใส่สารเคมี carbosulfan ในอัตราแนะนำ 2.5 กรัมต่อต้น ใส่สารแขวนลอยไข่ไส้เดือนฝอยรากปมความเข้มข้นในอัตราไข่ 3,000 ฟองต่อกระถาง (ประยุกต์ตาม van Vuuren and Woodward, 2001; Kagoda et al., 2004; นุชนารถ และคณะ, 2558) ให้กับมันสำปะหลังในกรรมวิธีที่ 1–18 โดยแบ่งใส่ลงในรูลึกประมาณระดับรากมันสำปะหลังห่างโคนต้นประมาณ 4 เซนติเมตร จำนวน 5 รูๆละเท่าๆกัน รอบโคนต้นมันสำปะหลัง

แต่ละกรรมวิธีทำการทดลองทั้งหมด 4 ซ้ำๆละกระถาง แต่ละกระถางปลูกมันสำปะหลัง 1 ต้น โดยมีชุดควบคุม ได้แก่ กรรมวิธีที่ 18 ใส่ไข่ไส้เดือนฝอยรากปมอย่างเดียว และกรรมวิธีที่ 19 ไม่มีการราดราปฏิปักษ์ใดๆและไม่มีการใช้สารเคมี carbosulfan รวมทั้งไม่มีการราดไข่ไส้เดือนฝอยรากปม ดูแลรักษาต้นมันสำปะหลังโดยรดน้ำวันละ 1 ครั้ง และเมื่อมันสำปะหลังอายุ 7 วันหลังการปลูกใส่ปุ๋ยสูตร 15–15–15 ในอัตรา 2 กรัมต่อต้น (กระถาง)

ประเมินประสิทธิภาพของราปฏิปักษ์รูปการค้าและสารเคมี carbosulfan ต่อการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมของมันสำปะหลัง หลังการราดไข่ 45 วัน ประเมินตัวชี้วัดปริมาณไส้เดือนฝอยรากปมจากค่าต่างๆ ได้แก่ จำนวนกลุ่มไข่ต่อระบบราก (ใช้เป็นเกณฑ์เพื่อบ่งบอกถึงความรุนแรงของไส้เดือนฝอยรากปม ประยุกต์ตาม Begum et al., 2014; นุชนารถ และคณะ, 2558), จำนวนไข่ต่อราก 1 กรัม และจำนวนตัวเต็มวัยเพศเมียต่อราก 1 กรัม โดยย้อมสีตัวเต็มวัยเพศเมียด้วย acid fuchsin ตามวิธีการของ Byrd et al. (1983) รวมทั้งตัวชี้วัดการเจริญเติบโตของพืช (ความสูงของต้น, น้ำหนักต้นและรากสด และน้ำหนักรากสด) โดยทดลองทั้งหมด 2 ช่วงคือ ฤดูฝน (27 มิถุนายน – 12 สิงหาคม 2561, 21–35.5 °ซ, 88–96% R.H.) และฤดูหนาว (23 พฤศจิกายน 2561 – 7 มกราคม 2562, 17–35.7 °ซ, 80–96% R.H.) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่บันทึก (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพของราปฏิปักษ์รูปการค้าต่อโรครากปมของมันสำปะหลัง

1.1 การทดสอบครั้งที่ 1 (27 มิถุนายน – 12 สิงหาคม 2561)

ผลการทดสอบในฤดูฝนแสดงใน Table 1 โดยเมื่อประเมินจากจำนวนกลุ่มไข่ กรรมวิธีที่มีการใช้สารเคมีกำจัดไส้เดือนฝอย carbosulfan (กรรมวิธีที่ 17) มีประสิทธิภาพดีที่สุดกล่าวคือ ทำให้มีจำนวนกลุ่มไข่ต่อระบบรากน้อยที่สุดเท่ากับ 20.87 ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใช้ราปฏิปักษ์รูปการค้า T. harzianum 7 วันก่อนการราดไข่ (กรรมวิธีที่ 4, 21.05 กลุ่มไข่), M. anisopliae (กรรมวิธีที่ 7, 21.80 กลุ่มไข่) และ B. bassiana (กรรมวิธีที่ 5, 23.67 กลุ่มไข่) โดยต่างแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม 1 (กรรมวิธีที่ 18) ที่มีความอ่อนแอต่อโรครากปมมากที่สุด ซึ่งมีจำนวนกลุ่มไข่มากที่สุด (203.82 กลุ่มไข่) การใช้ราปฏิปักษ์ทุกกรรมวิธีสามารลดจำนวนกลุ่มไข่ต่อระบบราก 69.64-89.67 % โดยกรรมวิธีที่ 4 ลดจำนวนกลุ่มไข่ได้มากที่สุด 89.67 %

ในการประเมินค่าจำนวนไข่ต่อราก 1 กรัมนั้น พบว่าการใช้ T. harzianum (กรรมวิธีที่ 4) ส่งผลให้มีจำนวนไข่ต่อราก 1 กรัมน้อยที่สุด (15.88 ฟอง) โดยไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพรองลงมาคือ การใช้สารเคมี

carbosulfan (กรรมวิธีที่ 17, 32.80 ฟอง) ขณะที่ทั้ง 2 กรรมวิธีดังกล่าวและการใช้ราปฏิปักษ์รูปการค้าอื่นๆที่เหลือทั้งหมดให้ผลที่แตกต่างทางสถิติ (P<0.05) กับกรรมวิธีควบคุม 1 (กรรมวิธีที่ 18, 125.36 ฟอง)

สำหรับจำนวนตัวเต็มวัยเพศเมียต่อราก 1 กรัมนั้น พบว่ากรรมวิธีที่ 17 การใช้ carbosulfan มีค่าน้อยที่สุด (3.75 ตัว) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้รา *T. harzianum* (กรรมวิธีที่ 4, 4.25 ตัว/ราก 1 กรัม) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใช้ราปฏิปักษ์อื่นๆ ที่เหลือทั้งหมด และเฉพาะอย่างยิ่งกับกรรมวิธีควบคุม 1 (กรรมวิธีที่ 18) ซึ่งมีจำนวนมากที่สุด (32.75 ตัว/ราก 1 กรัม)

ในด้านตัวชี้วัดการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังนั้น พบว่าความสูงของต้นสูงสุด (22.00 ซม.) ได้จากกรรมวิธีที่ 16 (*T. harzianum*) รองลงมาซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติคือ กรรมวิธีที่ 15, 14, 6, และ 7 ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05) กับกรรมวิธีอื่นที่เหลือ รวมทั้งกรรมวิธีที่ 17 (carbosulfan, 17.38 ซม.) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรรมวิธีควบคุม 1 (กรรมวิธีที่ 18) ซึ่งต้นมันสำปะหลังมีความสูงน้อยที่สุด (14.75 ซม.) และจากการประเมินน้ำหนักต้นและรากสดนั้น การใช้ *T. harzianum* (กรรมวิธีที่ 4, 201.24 กรัม)ให้ค่าสูงสุด รองลงมาซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติได้แก่ การใช้ *M. anisopliae* (กรรมวิธีที่ 3, 181.00 กรัม) และการใช้ *P. lilacinus* (กรรมวิธีที่ 2, 168.44 กรัม) ส่วนกรรมวิธีควบคุม 2 (กรรมวิธีที่ 19) แม้จะให้ค่าน้อยที่สุด (104.94 กรัม) แต่ก็ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีอื่นๆเกือบทั้งหมด ยกเว้นการใช้ราปฏิปักษ์ในกรรมวิธีที่ 4, 3 และ 2 ดังกล่าวข้างต้น ในส่วนน้ำหนักรากสดนั้น การใช้ *T. harzianum* (กรรมวิธีที่ 4) ให้ค่าสูงที่สุด (7.68 กรัม) รองลงมาตามลำดับและไม่แตกต่างทางสถิติ ได้แก่ *M. anisopliae* (กรรมวิธีที่ 3, 6.80 กรัม), *P. lilacinus* (กรรมวิธีที่ 10, 6.66 กรัม), *P. lilacinus* (กรรมวิธีที่ 2, 6.31 กรัม) และกรรมวิธีควบคุม 1 (กรรมวิธีที่ 18, 6.24 กรัม) ขณะที่น้ำหนักรากสดต่ำที่สุดคือ การใช้ *P. lilacinus* (กรรมวิธีที่ 6, 3.64 กรัม) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีอื่นๆ ยกเว้นกรรมวิธีที่ 2–4, 10 และ 18

1.2 การทดสอบครั้งที่ 2 (23 พฤศจิกายน 2561 – 7 มกราคม 2562)

การทดสอบในฤดูหนาวปรากฏผลใน Table 2 แสดงให้เห็นถึงจำนวนกลุ่มไข่ต่อระบบรากซึ่งพบน้อยที่สุด (97.14 กลุ่มไข่) ในกรรมวิธีที่ใช้สารเคมี carbosulfan (กรรมวิธีที่ 17) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ให้ผลรองลงมาได้แก่ การใช้ *T. harzianum* (กรรมวิธีที่ 4, 116.64 กลุ่มไข่), *T. harzianum* (กรรมวิธีที่ 8, 190.60 กลุ่มไข่) และ *B. bassiana* (กรรมวิธีที่ 5, 193.52 กลุ่มไข่) แต่แตกต่างทางสถิติ (P<0.05) กับการใช้ราปฏิปักษ์ในกรรมวิธีอื่นๆที่เหลือ อีกทั้งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม 1 (กรรมวิธีที่ 18, ไม่มีการควบคุมใดๆ แต่มีการราดไข่ไส้เดือนฝอยรากปม) ซึ่งมีจำนวนสูงสุดถึง 1,918.86 กลุ่มไข่ การใช้ราปฏิปักษ์ทุกกรรมวิธีสามารลดจำนวนกลุ่มไข่ต่อระบบราก 74.70-93.92 % โดยกรรมวิธีที่ 4 ลดจำนวนกลุ่มไข่ได้มากที่สุด 93.92 %

จากข้อมูลของจำนวนไข่ต่อราก 1 กรัมนั้น การปฏิบัติที่ส่งผลให้มีค่าต่ำที่สุดและต่ำรองลงมา 1 อันดับ โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งเป็นกรรมวิธีเดียวกันกับผลการประเมินจำนวนกลุ่มไข่ต่อระบบรากคือ กรรมวิธีที่ 17 (carbosulfan, 7.98 ฟอง/ราก 1 กรัม) และกรรมวิธีที่ 4 (*T. harzianum,* 8.80 ฟอง/ราก 1 กรัม) ตามลำดับ อีกทั้งการใช้สารเคมี carbosulfan และ *T. harzianum* (กรรมวิธีที่ 4) ก็ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 2 (*P. lilacinus*, 11.78 ฟอง/ราก 1 กรัม) และกรรมวิธีที่ 16 (*T. harzianum,* 12.48 ฟอง/ราก 1 กรัม) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ราปฏิปักษ์ในกรรมวิธีอื่นๆที่เหลือ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับกรรมวิธีควบคุม 1 (กรรมวิธีที่ 18, 41.93 ฟอง/ราก 1 กรัม) ซึ่งมีจำนวนมากที่สุด

สำหรับจำนวนตัวเต็มวัยเพศเมียต่อราก 1 กรัมนั้น ได้ผลในทำนองเดียวกันกับการประเมินจำนวนไข่ต่อราก 1 กรัม โดยพบว่าสารเคมี carbosulfan (กรรมวิธีที่ 17) ส่งผลให้มีจำนวนตัวต่อราก 1 กรัมน้อยที่สุด (4.75 ตัว) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ *T. harzianum* ทั้งจากกรรมวิธีที่ 16 (6.25 ตัว/ราก 1 กรัม) และกรรมวิธีที่ 4 (6.63 ตัว/ราก 1 กรัม) แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) กับกรรมวิธีควบคุม 1 (กรรมวิธีที่ 18, 41.75 ตัว/ราก 1 กรัม) ซึ่งมีค่ามากที่สุดและกับการใช้ราปฏิปักษ์กรรมวิธีอื่นๆที่เหลือ

ในกรณีที่เกี่ยวข้องกับตัวชี้วัดการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังพบว่า ความสูงของต้นที่ได้จากการใช้สารเคมีหรือราปฏิปักษ์นั้น ราเขียว *M. anisopliae* (กรรมวิธีที่ 3) ซึ่งมีค่าสูงที่สุด 27.00 เซนติเมตร รองลงมาซึ่งไม่แตกต่างทางสถิตินั้นได้จากการใช้ *M. anisopliae* เช่นกัน (กรรมวิธีที่ 11, 25.00 ซม.) รวมทั้งการใช้ *T. harzianum* (กรรมวิธีที่ 4, 24.75 ซม.) และ *B. bassiana* (กรรมวิธีที่ 5, 24.75 ซม.) แต่ต่างก็มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) กับการใช้ *B. bassiana* (กรรมวิธีที่ 1) ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (21.25 ซม.) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม 1 นั้น กรรมวิธีควบคุม 1 มีค่าความสูงของต้นต่ำที่สุด (18.00 ซม.) ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) กับกรรมวิธีอื่นๆที่มีการใช้ราปฏิปักษ์ทั้งหมดและกับกรรมวิธีที่ใช้สารเคมี carbosulfan สำหรับน้ำหนักต้นและรากสดนั้น การใช้ราเขียว *M. anisopliae* (กรรมวิธีที่ 7) ส่งผลให้มีน้ำหนักต้นสดมากที่สุด (190.22 กรัม) ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใช้รา *B. bassiana* (กรรมวิธีที่ 5, 187.02 กรัม), *P. lilacinus* (กรรมวิธีที่ 10, 175.98 กรัม และกรรมวิธีที่ 2, 175.07 กรัม), *T. harzianum* (กรรมวิธีที่ 4, 172.68 กรัม) และ *M. anisopliae* (กรรมวิธีที่ 3, 171.92 กรัม) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม 1 (กรรมวิธีที่ 18) ซึ่งมีน้ำหนักต้นและรากสดน้อยที่สุด (131.64 กรัม) และกับการใช้ราปฏิปักษ์กรรมวิธีอื่นๆที่เหลือ รวมทั้ง carbosulfan ส่วนน้ำหนักรากสดนั้น กรรมวิธีที่ 18 (กรรมวิธีควบคุม 1)มีน้ำหนักรากสดมากที่สุดอย่างชัดเจน (45.23 กรัม) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) กับทุกกรรมวิธีที่นำมาทดสอบในครั้งนี้ รวมทั้งกรรมวิธีควบคุม 2 (กรรมวิธีที่ 19, 23.31 กรัม) ทั้งนี้กรรมวิธีที่ใช้ T. harzianum (กรรมวิธีที่ 8) เป็นกรรมวิธีที่ส่งผลให้มีน้ำหนักรากสดน้อยที่สุด (21.51 กรัม)

Table 1 Efficiency of commercial products of antagonistic fungi on the infection and growth parameters of cassava plants infected with *Meloidogyne incognita* tested in rainy season (June 27th – August 12th 2018).

Treatment	Egg masses/ root system	Eggs/g root	Female adults/g root	Shoot height (cm)	Shoot and root fresh weight (g)	Root fresh weight (g)	Reduction of egg masses (%)[1]
1. Product 1(7 days) + RKN eggs	28.59 cd	59.49 bcd	10.00 cde	15.50 ef	129.70 cd	4.84 bcd	85.97
2. Product 2 (7 days) + RKN eggs	38.63 bcd	47.57 cd	10.88 bcd	18.50 bcd	168.44 abc	6.31 abc	81.05
3. Product 3 (7 days) + RKN eggs	52.18 bc	47.13 cd	13.63 b	18.75 bcd	181.00 ab	6.80 ab	74.4
4. Product 4 (7 days) + RKN eggs	21.05 de	15.88 ef	4.25 f	17.75 bcde	201.24 a	7.68 a	89.67
5. Product 1 (5 days) + RKN eggs	23.67 de	48.89 cd	8.38 de	16.38 def	112.89 d	4.39 cd	88.39
6. Product 2 (5 days) + RKN eggs	31.47 cd	84.22 b	12.25 bc	20.25 ab	120.57 cd	3.64 d	84.56
7. Product 3 (5 days) + RKN eggs	21.80 de	69.40 bc	8.13 de	20.00 abc	112.23 d	3.82 d	89.30
8. Product 4 (5 days) + RKN eggs	37.66 bcd	68.97 bc	12.50 bc	17.25 cdef	139.40 bcd	4.53 bcd	81.52
9. Product 1 (3 days) + RKN eggs	45.83 bcd	84.74 b	12.88 bc	17.25 cdef	134.59 bcd	4.63 bcd	77.51
10. Product 2 (3 days) + RKN eggs	61.88 b	57.14 bcd	13.13 b	18.00 bcde	150.08 bcd	6.66 abc	69.64
11. Product 3 (3 days) + RKN eggs	29.75 cd	55.60 bcd	10.88 bcd	18.50 bcd	132.30 cd	5.15 bcd	85.40
12. Product 4 (3 days) + RKN eggs	40.10 bcd	65.48 bc	10.88 bcd	19.25 bc	145.26 bcd	4.67 bcd	80.33
13. Product 1 (0 day) + RKN eggs	37.85 bcd	68.75 bc	8.63 de	17.88 bcde	132.21 cd	4.75 bcd	81.43
14. Product 2 (0 day) + RKN eggs	42.83 bcd	67.75 bc	10.75 bcd	20.50 ab	126.96 cd	4.99 bcd	78.99
15. Product 3 (0 day) + RKN eggs	26.29 cd	46.35 cd	7.63 e	21.88 a	133.55 cd	4.58 bcd	87.10
16. Product 4 (0 day) + RKN eggs	29.55 cd	60.82 bcd	8.38 de	22.00 a	109.06 d	4.43 cd	85.50
17. Nematicide (carbosulfan) (0 day)	20.87 de	32.80 de	3.75 f	17.38 cdef	112.14 d	5.37 bcd	89.76
18. Control 1 + RKN eggs	203.82 a	125.36 a	32.75 a	14.75 f	112.48 d	6.24 abc	0
19. Control 2 (No RKN eggs)	0.00 e	0.00 f	0.00 g	17.25 cdef	104.94 d	5.07 bcd	-
F–test	**	**	**	**	**	**	
C.V. (%)	37.16	30.56	17.54	10.92	21.80	26.95	

Means followed by the same letter(s) in the same column are not significantly different ($P>0.05$, DMRT).

RKN eggs = inoculation with root–knot nematode eggs, Product 1 = *Beauveria bassiana*, Product 2 = *Paecilomyces lilacinus*,

Product 3 = *Metarhizium anisopliae*, Product 4 = *Trichoderma harzianum*

[1] Reduction of egg masses = $\frac{\text{(No. egg masses from control 1 - No. egg masses from treatment)}}{\text{No. egg masses from control 1}} \times 100$

Table 2 Efficiency of commercial products of antagonistic fungi on the infection and growth parameters of cassava plants infected with *Meloidogyne incognita* tested in cool season (November 23rd 2018 – January 7th 2019).

Treatment	Egg masses/ root system	Eggs/g root	Female adults/g root	Shoot height (cm)	Shoot and root fresh weight (g)	Root fresh weight (g)	Reduction of egg masses (%)[1]
1. Product 1(7 days) + RKN eggs	221.94 c	19.27 b	11.88 cde	21.25 e	165.01 cde	23.83 ef	88.43
2. Product 2 (7 days) + RKN eggs	252.70 c	11.78 c	11.88 cde	23.00 bcde	175.07 abc	31.22 cd	86.83
3. Product 3 (7 days) + RKN eggs	276.77 c	19.33 b	10.63 def	27.00 a	171.92 abcd	23.57 ef	85.58
4. Product 4 (7 days) + RKN eggs	116.64 de	8.80 c	6.63 gh	24.75 abc	172.68 abcd	25.33 ef	93.92
5. Product 1 (5 days) + RKN eggs	193.52 cde	22.10 b	13.00 cd	24.75 abc	187.02 ab	24.64 ef	89.91
6. Product 2 (5 days) + RKN eggs	236.20 c	20.57 b	13.88 c	24.50 bcd	165.24 cde	25.04 ef	87.69
7. Product 3 (5 days) + RKN eggs	485.53 b	19.76 b	21.50 b	23.75 bcde	190.22 a	36.80 b	74.70
8. Product 4 (5 days) + RKN eggs	190.60 cde	22.48 b	11.25 cdef	23.00 bcde	146.97 efg	21.51 f	90.07
9. Product 1 (3 days) + RKN eggs	280.83 c	17.87 b	12.50 cd	22.00 de	153.21 defg	27.60 de	85.36
10. Product 2 (3 days) + RKN eggs	239.05 c	18.33 b	13.50 c	22.00 de	175.98 abc	23.62 ef	87.54
11. Product 3 (3 days) + RKN eggs	435.68 b	17.63 b	19.50 b	25.00 ab	166.70 bcde	35.90 bc	77.29
12. Product 4 (3 days) + RKN eggs	263.65 c	17.21 b	11.38 cde	23.50 bcde	140.08 fg	27.42 de	86.26
13. Product 1 (0 day) + RKN eggs	208.13 cd	19.07 b	9.63 def	23.25 bcde	160.27 cdef	23.95 ef	89.15
14. Product 2 (0 day) + RKN eggs	240.75 c	17.74 b	8.75 fg	23.50 bcde	152.37 defg	25.00 ef	87.45
15. Product 3 (0 day) + RKN eggs	405.17 b	17.54 b	19.75 b	24.00 bcd	142.95 fg	35.24 bc	78.88
16. Product 4 (0 day) + RKN eggs	202.46 cd	12.48 c	6.25 h	24.25 bcd	153.17 defg	25.50 ef	89.45
17. Nematicide (carbosulfan) (0 day)	97.14 e	7.98 c	4.75 h	23.25 bcde	147.84 efg	23.53 ef	94.94
18. Control 1 + RKN eggs	1918.86 a	41.93 a	41.75 a	18.00 f	131.64 g	45.23 a	0
19. Control 2 (No RKN eggs)	0.00 f	0.00 d	0.00 i	22.25 cde	145.78 efg	23.31 ef	-
F–test	**	**	**	**	**	**	
C.V. (%)	19.79	18.56	12.79	6.7	8.18	12.18	

Means followed by the same letter(s) in the same column are not significantly different (P>0.05, DMRT).

RKN eggs = inoculation with root–knot nematode eggs, Product 1 = *Beauveria bassiana*, Product 2 = *Paecilomyces lilacinus*,

Product 3 = *Metarhizium anisopliae*, Product 4 = *Trichoderma harzianum*

[1] Reduction of egg masses = $\frac{\text{(No. egg masses from control 1 - No. egg masses from treatment)}}{\text{No. egg masses from control 1}} \times 100$

สรุปและวิจารณ์

การทดสอบประสิทธิภาพของราปฏิปักษ์รูปการค้า 4 ชนิด ได้แก่ *B. bassiana, P. lilacinus, M. anisopliae* และ *T. harzianum* เปรียบเทียบกับการใช้สารเคมีกำจัดไส้เดือนฝอย carbosulfan และการไม่ใช้ทั้งราปฏิปักษ์และ carbosulfan ต่อการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม (*M. incognita*) ของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปมในสภาพเรือนทดลอง โดยทำการทดสอบ 2 ฤดู ได้แก่ ฤดูฝนและฤดูหนาว ผลการทดสอบใน 2 ฤดู พบว่าราปฏิปักษ์รูปการค้าทั้ง 4 ชนิดและ carbosulfan มีประสิทธิภาพในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมได้ไม่ว่าจะเป็นการใช้ที่ 7, 5, 3 และ 0 วันก่อนการราดไข่ เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใช้ทั้งราปฏิปักษ์และสารเคมี แต่มีการราดไข่ไส้เดือนฝอย (กรรมวิธีควบคุม 1) ทั้งนี้ในฤดูฝนการใช้ T. harzianum 7 วันก่อนการราดไข่ก็ให้ผลที่ดีในการควบคุมไส้เดือนฝอย ซึ่งแม้ว่าทำให้มีจำนวนกลุ่มไข่และจำนวนตัวเต็มวัยเพศเมียต่อราก 1 กรัม มีจำนวนไม่น้อยที่สุด แต่ก็ทำให้จำนวนไข่ต่อราก 1 กรัมมีน้อยที่สุด โดยค่าต่างๆนี้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการใช้ carbosulfan ทั้งนี้สามารถลดจำนวนกลุ่มไข่ต่อระบบรากลงได้ 89.67 % ส่วนในฤดูหนาวนั้นการใช้ *T. harzianum* ที่ 7 วันก่อนการราดไข่ เป็นกรรมวิธีที่ให้ผลรองลงมาและไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ carbosulfan ซึ่งมีค่าต่ำสุด (ทุกค่าของตัวชี้วัดปริมาณไส้เดือนฝอยรากปม) สามารถลดจำนวนกลุ่มไข่ต่อระบบรากลงได้ 93.92 % ผลการทดสอบ

นี้แสดงให้เห็นว่า ราปฏิปักษ์รูปการค้า *T. harzianum* ที่ 7 วันก่อนการราดไข่ไส้เดือนฝอยสามารถนำมาประยุกต์ใช้และมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับสารเคมี carbosulfan ในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมของมันสำปะหลังในสภาพเรือนทดลองได้ทั้ง 2 ฤดู รวมทั้งฤดูร้อน (ข้อมูลยังไม่เผยแพร่) ทั้งนี้ราปฏิปักษ์ที่สำคัญและมีประสิทธิภาพในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมมีหลายสกุล เช่น *Paecillomyces, Pochonia, Metarhizium, Trichoderma, Beauveria, Neonothopanus* เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยมีการตื่นตัวและมีการผลิตราปฏิปักษ์ในรูปการค้าหลายชนิด เช่น *P. lilacinus, T. harzianum, M. anisopliae, B. bassiana* และ *Chaetomium globosum* เป็นต้น โดยมีชื่อการค้าที่หลากหลายในท้องตลาด (วีระศักดิ์, 2560) อย่างไรก็ดีมีรายงานถึงประสิทธิภาพของราปฏิปักษ์ *Trichoderma* spp., *B. bassiana* และ *M. anisopliae* ที่เข้าทำลายไส้เดือนฝอยรากปม (*M. incognita*) ได้ (Windham et al., 1993; Thienhirun, 1997; ภารตี และคณะ, 2556) สำหรับราปฏิปักษ์รูปการค้าในประเทศไทยนั้น มีข้อมูลน้อยมากในการนำไปใช้ควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม ส่วนใหญ่เป็นการนำไปใช้ควบคุมโรคเชื้อราและควบคุมแมลงศัตรูพืช ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้มีการทดสอบเพื่อนำราปฏิปักษ์รูปการค้ามาใช้ควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมในมันสำปะหลัง ซึ่งได้ผลชัดเจนว่าการใช้ราปฏิปักษ์รูปการค้าต่างๆนี้สามารถควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมในมันสำปะหลังได้ ทั้งนี้การใช้เชื้อรา *T. harzianum* โดยการปลูกเชื้อที่บริเวณรากมันสำปะหลังเป็นเวลา 7 วันก่อนการราดไข่ไส้เดือนฝอยรากปมนั้น ให้ผลของการควบคุมที่ดี โดยทำให้ค่าตัวชี้วัดปริมาณไส้เดือนฝอยทุกค่า มีน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุม 1 อีกทั้งการใช้ *T. harzianum* ที่ 5, 3 หรือ 0 วันก่อนการราดไข่ก็ให้ผลในการควบคุมไส้เดือนฝอยที่ดีกว่ากรรมวิธีควบคุม และสามารถเทียบเคียงประสิทธิภาพได้กับสารเคมี carbosulfan การที่เชื้อรา *T. harzianum* มีประสิทธิภาพในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมได้ดีนั้น อาจเนื่องจากมีกลไกในการเป็นปฏิปักษ์ต่อไส้เดือนฝอยได้หลายอย่าง อาทิ การทำลายไข่ ที่เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ chitinase (Sahebani and Hadavi, 2008) และ protease (Sharon et al., 2001) หรือแม้แต่การมีคุณสมบัติของการเจริญครอบคลุมรากพืชและกระตุ้นความต้านทานโรคพืช (induced systemic resistance) ได้ (วีระศักดิ์, 2560; Martinez-Medina et al., 2016) นอกจากนี้มีรายงานว่าราปฏิปักษ์หลายชนิดเป็นเชื้อราเอนโดไฟต์ (endophytic fungi) ซึ่งมีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ส่วนการประเมินตัวชี้วัดการเจริญเติบโตของพืชในด้านความสูงของต้น น้ำหนักต้นและรากสด และน้ำหนักรากสดของมันสำปะหลังในการศึกษานี้ พบว่าการใช้เชื้อราปฏิปักษ์รูปการค้ามีแนวโน้มทำให้ผลผลิตพืชที่ประเมินดังกล่าวมีค่ามากกว่าการไม่ใช้ราปฏิปักษ์ ซึ่งราปฏิปักษ์ *T. harzianum* , *B. bassiana, M. anisopliae* รวมทั้ง *Purpureocillium lilacinum* (ชื่อเดิม *P. lilacinus*) นั้น มีรายงานว่าเป็นเชื้อราที่มีคุณสมบัติเป็นเอนโดไฟต์ (Ownley et al., 2010; Batta, 2013; Lopez et al., 2014, Umadevi et al., 2017) และจากผลการทดสอบนี้ในการใช้เชื้อราปฏิปักษ์รูปการค้าเพื่อควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมในมันสำปะหลังซึ่งให้ผลดีเทียบเคียงกับสารเคมี carbosulfan นั้น อาจเป็นเพราะเชื้อราปฏิปักษ์ดังกล่าวมีคุณสมบัติและกลไกที่หลากหลายที่สามารถยับยั้งการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปมได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเชื้อ *T. harzianum* ซึ่งมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการทดสอบครั้งนี้ โดยให้ผลคล้ายกับการศึกษาของ Umadevi et al. (2017) ที่พบว่าเชื้อ *T. harzianum* มีการเจริญเติบโตที่เร็วและมีการเจริญเข้าบริเวณระหว่างเซลล์ของรากพริกไทยดำภายใน 24 ชั่วโมง และสร้าง vesicle ในเซลล์ภายใน 48 ชั่วโมง แสดงให้เห็นถึงการปลูกเชื้อชนิดนี้ให้กับพืช น่าจะทำให้มีการเจริญของเส้นใยเข้าครอบครองบริเวณรากพืชได้เร็ว ทำให้มีปฏิสัมพันธ์กับพืชและทำให้พืชมีความต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรคพืช

สำหรับการประเมินตัวชี้วัดการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังจากค่าความสูงของต้น น้ำหนักต้นและรากสด และน้ำหนักรากสด ใน 2 ฤดูที่ทดสอบนี้นั้น พบว่ากรรมวิธีควบคุม 1 มีความสูงของต้นน้อยที่สุด และอยู่ในกลุ่มที่มีน้ำหนักต้นและรากสดในระดับต่ำ – ต่ำที่สุด ในขณะที่การใช้ M. anisopliae ต่างกรรมวิธีทำให้ต้นมันสำปะหลังมีความสูงและน้ำหนักต้นและรากสดมีค่าอยู่ในระดับ

มาก – มากที่สุด ซึ่งผลการทดสอบนี้ พบว่าการที่ราปฏิปักษ์โดยเฉพาะ *M. anisopliae* ทำให้ต้นมันสำปะหลังเจริญเติบโตได้ดีกว่าการใช้ราปฏิปักษ์อื่นๆนั้น อาจเนื่องจาก *M. anisopliae* มีการเจริญครอบครองบริเวณรากมันสำปะหลังได้ดีและมีชีวิตรอดได้ยาวนานกว่า จึงน่าจะส่งผลให้มันสำปะหลังเจริญได้ดีกว่ากรรมวิธีการใช้ราปฏิปักษ์อื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Greenfield et al. (2016) ที่พบว่า *M. anisopliae* สามารถครอบครองรากมันสำปะหลังโดยมีอายุการอยู่รอดได้คงที่และนานกว่า *B. bassiana* ในส่วนน้ำหนักรากสดนั้น กรรมวิธีควบคุม 1 มีการตรวจพบไส้เดือนฝอยรากปมเข้าทำลายราก โดยไม่แสดงอาการรากปมที่ชัดเจนในทุกฤดู รวมทั้งฤดูร้อน (ข้อมูลยังไม่ได้เผยแพร่) ดังนั้นน้ำหนักรากสดจึงมีโอกาสใกล้เคียง (ไม่แตกต่างทางสถิติ) กับกรรมวิธีต่างๆ (การใช้ราปฏิปักษ์ส่วนใหญ่และ carbosulfan) ที่มีประสิทธิภาพดังเช่นในฤดูฝน นอกจากนั้นการใช้ราปฏิปักษ์ยังให้ผลดี เช่น ส่งเสริมการเจริญเติบโตในพืช (endophyte) อีกทั้งการใช้สารเคมีหรือแม้แต่กรรมวิธีควบคุม 2 (ไม่มีการใช้ราปฏิปักษ์ ไม่มีการใช้สารเคมี และไม่มีการราดไข่ไส้เดือนฝอย) จะให้ค่าตัวชี้วัดการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่มาก ในระดับไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ราปฏิปักษ์รูปการค้ากรรมวิธีอื่นๆส่วนใหญ่ สำหรับการประเมินในด้านตัวชี้วัดการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่เกิดจากกรรมวิธีต่างๆนั้น กรรมวิธีควบคุมที่ 1 แสดงให้เห็นถึงผลของการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอย โดยทำให้มันสำปะหลังมีความสูงของต้นน้อยที่สุดในทุกฤดูที่ทดสอบ และมีการเจริญน้อยกว่ากรรมวิธีที่มีการควบคุมไส้เดือนฝอย ไม่ว่าจะเป็นการใช้ราปฏิปักษ์หรือการใช้สารเคมี carbosulfan ซึ่งการประเมินน้ำหนักต้นและรากสด และน้ำหนักรากสดนั้น อาจยังมีผลไม่ชัดเจนที่จะแสดงถึงผลกระทบของไส้เดือนฝอยรากปมต่อน้ำหนักสดดังกล่าว ทั้งนี้เป็นไปได้ที่ในการทดลองนี้ได้ประเมินผลมันสำปะหลังที่อายุ 45 วันหลังการราดไข่ ซึ่งในด้านพัฒนาการโรครากปมของมันสำปะหลังนั้น ปมรากที่บริเวณรากฝอยจะสังเกตได้ชัดเมื่อมันสำปะหลัง 6 เดือน (อุดมศักดิ์, 2558) ดังนั้นการประเมินน้ำหนักรากสดที่ทดลองในเรือนทดลองนั้น อาจได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน อีกทั้งอาจเนื่องมาจากการทดลองในสภาพโรงเรือนที่มีหลังคาแม้ต่างฤดูก็ไม่มีความแตกต่างกันของสิ่งแวดล้อมมากนัก จากผลการศึกษาที่นำเสนอนี้ชี้ให้เห็นว่า การใช้ราปฏิปักษ์รูปการค้าทั้ง 4 ชนิด มีประสิทธิภาพในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมในมันสำปะหลังในสภาพเรือนทดลอง ผลการทดลองนี้สมควรนำไปใช้ในการทดสอบการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมของมันสำปะหลังในสภาพแปลงปลูกต่อไปซึ่งยังมีการศึกษาน้อยมาก โดยเฉพาะในประเทศไทย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเขต 3 จังหวัดขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีชีวภาพการเกษตรเพื่อเศรษฐกิจที่ยั่งยืน และกลุ่มวิจัยการเพาะเลี้ยงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไหมป่าและแมลงสำคัญทางเศรษฐกิจเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยบางส่วนและการให้ความอนุเคราะห์การใช้ครุภัณฑ์และอุปกรณ์ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

จรรยา มณีโชติ สุเทพ สหายา ปรัชญา เอกฐิน และยุธวรรณ อนันตนมณี (บรรณาธิการ). 2559. คู่มือการจัดการ ปัญหาศัตรูพืชมันสำปะหลังแบบผสมผสาน. การันตี: กรุงเทพฯ.

นุชนารถ ตั้งจิตสมคิด ภานุวัตฒน์ มูลจันทะ อุดมศักดิ์ เลิศสุชาตวนิช และ โอภาษ บุญเส็ง. 2558. การคัดเลือกและประเมินเชื้อพันธุกรรมมันสำปะหลังต้านทานไส้เดือนฝอยรากปม. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโลโลยีแห่งชาติ.

ภารตี ศรีลาศักดิ์ วีระศักดิ์ ศักดิ์ศิริรัตน์ และ ศิวิลัย สิริมังคารัตน์. 2556. การทดสอบการเป็นปฏิปักษ์ของเชื้อราต่อกลุ่มไข่ไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne incognita* Chitwood) และกิจกรรมเอนไซม์ย่อยสลาย. แก่นเกษตร 41 (ฉบับพิเศษ 1): 221-231.

ยุวดี ชูประภาวรรณ. 2550. การประเมินประสิทธิภาพเชื้อราในดินต่อการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne incognita* สาเหตุโรครากปมพริกในแปลงปลูกพืชขนาดเล็ก. แก่นเกษตร 35(2): 189-195.

วีระศักดิ์ ศักดิ์ศิริรัตน์. 2560. ราปฏิปักษ์สำหรับควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี. หจก. คลังนานาวิทยา: ขอนแก่น.

สมควร คีรีวัลย์. 2539. การป้องกันกำจัดไส้เดือนฝอยโดยวิธีเขตกรรม. เอกสารเผยแพร่วิชาการโรคพืชและจุลชีววิทยา ประจำปี 2539. กองโรคพืชและจุลชีววิทยา กรมวิชาการเกษตร.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. มันสำปะหลัง. (อ้างอิงเมื่อ 1 มีนาคม 2562) สืบค้นจาก: URL: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=21291&filename=news.

สำนักผู้เชี่ยวชาญ กรมวิชาการเกษตร. ศัตรูพืช. ม.ป.ป. (อ้างอิงเมื่อ 10 พฤษภาคม 2562) สืบค้นจาก: URL: http://www.expertdoa.com/km_plant_info.php?ProductID=16.

สืบศักดิ์ สนธิรัตน เกษกานดา สุทธิสุข วัฒนะ นรสิงห์ สุทิน ราชธา และ ชัชวาล สุวรรณสาร. 2521. ไส้เดือนฝอยศัตรูพืชในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. เอกสารงานวิจัยฉบับที่ 3. สำนักงานเกษตรภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.

อุดมศักดิ์ เลิศสุชาตวนิช. 2558. ประสิทธิภาพของสารเคมีและชีวภัณฑ์ในการควบคุมโรครากปมของมันสำปะหลัง. การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 53. 3–6 กุมภาพันธ์ 2558. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

Batta, Y.A. 2013. Efficacy of endophytic and applied Metarhizium anisopliae (Metch.) Sorokin (Ascomycota: Hypocreales) against larvae of Plutella xylostella L. (Yponomeutidae: Lepidoptera) infesting Brassica napus plants. Crop Protection 44: 128-134

Begum, K., N. Hasan, S. Khandker, F.M. Aminuzzaman, M. Asaduzzamarn, and N. Akhtar. 2014. Evaluation of brinjal cultivars (*Solanum melongena*) against root-knot nematode *Meloidogyne* spp. Applied Science Reports 7(3): 129-134.

Byrd, D.W., T. Kirkpatrick, and K.R. Barker. 1983. An improved technique for clearing and staining plant tissue for detection of nematodes. Journal of Nematology 15(1): 142–143.

Coyne, D.L. 1994. Nematode pests of cassava. African Crop Science Journal 2(4): 355–359.

Ekanayake, H.M.R.K., and N.J. Jayasundara. 1994. Effect of Paecilomyces lilacinus and Beauveria bassiana in controlling *Meloidogyne incognita* on tomato in Sri lanka. Nematologia Mediterranea 22: 87-88.

Greenfield, M., M.I. Gomez-Jimenez, V. Ortiz, F.E. Vega, M. Kramer, and S. Parsa. 2016. Beauveria bassiana and Metarhizium anisopliae endophytically colonize cassava roots following soil drench inoculation. Biological Control 95: 40-48.

Jatala, P. 1986. Biological control of plant parasitic nematodes. Annual Review of Phytopathology 24: 453–489.

Kagoda, F., D. Coyne, C. Kajumba, and J. Dusabe. 2004. Early screening of cassava for resistance to root knot nematodes. Uganda Journal of Agricultural Sciences 9: 574-577.

Lopez, D.C., K. Zhu-Salzman, M.J. Ek-Ramos, and G.A. Sword. 2014. The entomopathogenic fungal endophytes Purpureocillium lilacinum (Formerly Paecilomyces lilacinus) and Beauveria bassiana negatively affect cotton aphid reproduction under both greenhouse

and field conditions. PLOS ONE 9 (Issue 8): e103891

Martinez-Medina, A., I. Fernandez, G.B. Lok, M.J. Pozo, C.M.J. Pieterse, and S.C.M. van Wees. 2016. Shifting from priming of salicylic acid- to jasmonic acid-regulated defences by *Trichoderma protects* tomato against the root knot nematode Meloidogyne incognita. New Phytologist 213(3): 1363-1377.

Ownley, B.H., K.D. Gwinn, and F.E. Vega. 2010. Endophytic fungal entomopathogens with activity against plant pathogens: Ecology and evolution. Biological Control 55: 113-128.

Sahebani, N., and N. Hadavi. 2008. Biological control of the root knot nematode Meloidogyne javanica by *Trichoderma harzianum.* Soil Biology and Biochemistry 40(8): 2016–2020.

Sharon, E., M. Bar-Eyal, I. Chet, A. Herrera-Estrella, O. Kleifeld, and Y. Spiegel. 2001. Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum.* Phytopathology 91(7): 687-693.

Thienhirun, P. 1997. Efficacy of *Trichoderma* spp. in controlling root-knot nematode (Meloidogyne incognita). Ph.D. Thesis, Department of Plant Pathology, Kasetsart University.

Umadevi, P., M. Anandaraj, and S. Benjamin. 2017. Endophytic interactions of *Trichoderma harzianum* in a tropical perennial rhizo-ecosystem. Research Journal of Biotechnology 12: 22-30.

van Vuuren, R.J., and B. Woodward. 2001. The response of cassava cultivars to root-knot nematode infestation: An in vitro method. Euphytica 120(1): 109-113.

Wallace, H.R. 1968. The influence of soil moisture on survival and hatch of Meloidogyne javanica. Nematologica 14: 231–242.

Windham, G.L., M.T. Windham, and G.A. Pederson. 1993. Interaction of *Trichoderma harzianum, Meloidogyne incognita* and Meloidogyne arenaria on Trifolium repens. Nematropica 23: 99-103.